

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program B2341 – Strojírenství

Materiály a technologie

Zaměření tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie

Oddělení tváření kovů a plastů

Technologické problémy při válcování závitů tenkostěnných trubek z Ms

Technological difficulties during thread rolling on thin-walled Ms tubes

Jakub Típek

KSP – TP

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Pavel Doubek, Ph.D.

Konzultant bakalářské práce: Ing. Pavel Solfronk, Ph.D.

Rozsah práce a příloh:

Počet stran 42

Počet tabulek 5

Počet příloh 6

Počet obrázků 19

Datum: 6. 1. 2012

ANOTACE

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra strojírenské technologie

Oddělení tváření kovů a plastů

Studijní program: B2341 – Strojírenství
Student: Jakub Típek
Téma práce: Technologické problémy při válcování závitů
tenkostěnných trubek z Ms
Technological difficulties during thread rolling on thin-walled Ms tubes

Číslo BP: KSP-TP
Vedoucí BP: Ing. Pavel Doubek, Ph.D.
Konzultant BP: Ing. Pavel Solfronk, Ph.D.

Abstrakt:

Obsahem práce je hodnocení vlastností tenkostěnných trubek vyrobených z mosazi Ms63 ve vztahu k technologii válcování závitů. Měření se provádí pro zjištění nejdůležitějších mechanických vlastností ovlivňujících technologii válcování závitů a uvedené závěry se týkají nežádoucích projevů, které při výrobě válcovaných závitů nastávají.

Abstract:

The thesis is focused on testing of properties of thin-walled tubes made of brass (Ms63). Measurements are done due to discovering mechanical properties which affects thread rolling technology. Conclusions of testing are made regarding to possible unwanted effects during thread rolling.

Místopřísežné prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 6. 1. 2012

.....

Jakub Típek

Voroněžská 217/5

460 01 Liberec

Poděkování:

V úvodu své práce bych chtěl poděkovat za pomoc a odborné rady, zvláště pak vedoucímu práce Ing. Pavlu Doubkovi, Ph.D. Ing. Dále pak Ing. Michaelae Kolnerové, PhD, Ivě Novákové, Ph.D a Ing. Pavlu Solfronkovi, Ph.D.

Obsah

1. Úvod	8
2. Teoretická část	9
2.1. Slitiny mědi – mosazi	9
2.2. Měď	11
2.3. Materiálové vady mědi a jejích slitin	12
2.4. Tepelné zpracování mědi a jejích slitin	14
2.5. Technologie výroby závitů tvářením	14
2.6. Způsoby výroby závitů tvářením	15
2.7. Válcovací hlavy	18
2.8. Profily válcovaných závitů a polotovar	19
2.9. Konstrukce válcovacích hlav	20
3. Experimentální část	22
3.1. Válcování závitů ve výrobním procesu spol. DBK Glass s.r.o.....	22
3.2. Mosaz Ms63	23
3.3. Rozměry polotovaru a vývalku.....	24
3.4. Hodnocení materiálových vlastností vzorků.....	24
3.4.1. Statická zkouška tahem	24
3.4.2. Měření tvrdosti	26
3.4.3. Metalografický rozbor	27
3.4.4. Rozměry závitu po válcovací operaci	30
4. Závěr	31
5. Použitá literatura.....	33
6. Přílohy.....	34

Seznam zkratek a symbolů

d_1	Malý průměr vnějšího závitu	[mm]
d_2	Střední průměr vnějšího závitu	[mm]
d_3	Velký průměr vnějšího závitu	[mm]
$R_{p0,2}$	Smluvní mez kluzu	[MPa]
R_m	Mez pevnosti v tahu	[MPa]
A_x	Tažnost materiálu měřená na délce x	[%]
p	Tlak	[MPa]
E	Youngův modul	[MPa]
HV	Tvrdost měřená podle Vickerse	[-]
HB	Tvrdost měřená podle Brinella	[-]
HRC	Tvrdost měřená podle Rockwella	[-]
α	Úhel zkosení náběhové hrany polotovaru	[°]
D_m	Průměr náběhové hrany polotovaru	[mm]
D	Výchozí průměr polotovaru	[mm]
L_0	Výchozí délka trhací tyčinky	[mm]
L_u	Délka trhací tyčinky po utržení	[mm]
ppm	počet částí na milion z celku	[-]
p	Rozteč závitu	[mm]
P	Přítlačná síla	[N]
R	Reakce na přítlačnou sílu	[N]
D_1	Rozměr vzorku č. 1 v nejširším místě	[mm]
D_2	Rozměr vzorku č. 2 v nejužším místě	[mm]
D_3	Průměr vzorku č. 2	[mm]
Φ	Úhel náběhu upravené součásti pro válcování	[°]
D	Výchozí průměr válcované součásti	[mm]
D_m	Průměr pod úhlem náběhu upravené součásti	[mm]

α	Tuhý roztok zinku v mědi
β'	Nízkoteplotní tvrdá fáze v mosazi
Ms63	Mosaz s obsahem 63% mědi
M	Označení metrického závitu
Cu	Chemická značka mědi
Zn	Chemická značka zinku

1. Úvod [1][2]

Technologie válcování závitů je nepostradatelná technologie pro přípravu polotovarů i hotových výrobků. U technologie válcování závitů, kterou se bude tato práce zabývat, je nutno vyzdvihnout její vlastnosti, jež ji upřednostňují oproti klasickému obrábění.

V první řadě bude nespornou předností její produktivita. Některé prameny uvádí, že válcováním se dá dosáhnout desetkrát až stokrát lepších časů oproti třískovému obrábění. Nehledě na vyšší pevnost v tahu, plynoucí ze samotného principu technologie, kde se povrchová vrstva materiálu stlačuje směrem k jádru součásti. Díky tomu se zvyšuje pevnost součásti a na povrchu vývalku vzniká stlačená vrstva zvyšující otěruvzdornost, korozivzdornost a vyznačuje se dobrým koeficientem smykového tření mezi šroubem a maticí. Nedochází také k žádnému úběru materiálu, což válcování činí oproti ostatním technologiím i ekonomičtější i ekologičtější, což v dnešní době jsou jedny z hlavních parametrů, ke kterým se při zavádění strojů do výroby přihlíží.

Tato práce se zabývá technologií válcování závitů při výrobě trubkových svorníků z mosazi Ms63 resp. CuZn37 u ověsových svítidel ve společnosti DBK Glass s.r.o.. Při použití stejného materiálu od různých dodavatelů, se při výrobě závitů válcováním vyskytují značné kvalitativní rozdíly. V případě výroby dlouhých závitů je použití jednoho z materiálu dokonce nemožné.

Obecně materiál Ms63 díky své dobré odolnosti proti korozi a tvářitelnosti, nachází široké využití také při výrobě tvarových částí armatur sloužících k dopravě tekutin, solných roztoků, jiných agresivních látek, či látek plyných.

Cílem práce je vyhodnotit stávající stav používané technologie a materiálové koncepce ve společnosti DBK Glass s.r.o.. V práci budou popsány mechanické vlastnosti, konkrétně tvrdost, pevnost a tvařitelnost pro používané materiály. Sledovaná bude zejména geometrie těchto různých materiálů po tvářecí operaci a vhodnost jejich využití pro daný účel.

2. Teoretická část

Teoretická část práce bude věnována popisu vlastností mosazi a její základní strukturní součásti mědi. Bude se zabývat technologií výroby závitů netřiskovými technologiemi respektive technologiemi výroby válcováním.

2.1. Slitiny mědi – mosazi [3][5][4]

Mosazi jsou slitiny mědi, kde se jako hlavní legující prvek používá zinek. K vylepšení jejích vlastností lze přidat i další prvky, jejichž obsah však nikdy nepřesahuje množství zinku ve slitině obsažené. Přísadovými prvky, obdobně jako u oceli, lze upravovat vlastnosti slitiny do požadovaných parametrů. Lze je modifikovat přidáním olova, cínu, hliníku, niklu, manganu atd. Mosazi jsou jednofázové α s obsahem zinku do 32,5%, popřípadě vícefázové $\alpha + \beta'$, kde α je tuhý roztok zinku v mědi a β' je tvrdší fáze s mřížkou prostorově středěnou, vyskytující se jako precipitát po tvářecí operaci a následném tepelném zpracování (viz obr. 1).

Dvousložkové mosazi kromě dvou základních složek Cu a Zn, neobsahují již žádné přísady. Teoreticky se tyto slitiny dají využít do obsahu zinku 49%, prakticky se využívají ty méně legované, protože se stoupajícím obsahem zinku se ve struktuře vylučuje nežádoucí křehká fáze β' . Ta lze odstranit tepelným zpracováním, kdy součást ohřejeme nad oblast β' a prudkých ochlazením neumožníme nežádoucí krystalizaci. Takovými pochody se však komplikuje výroba a tak i stoupá její cena, takže se nejčastěji využívá slitin s obsahem přibližně 30% zinku. *Alpaka*, používané na výrobu šperků, kvůli věrné podobě stříbru, a pro její zvýšenou korozní odolnost v potravinářském průmyslu, optice, výrobě fotoaparátů a hudebních nástrojů. Jinou známou slitinou je *amalgám* využívaný dentisty pro svou tvárnost a chemickou stálost. Dalšími prvky, olovem, či vizmutem, lze upravit špatnou obrobitelnost. Na hranicích zrn se vyloučí fáze olova zapříčiňující křehkost a tím i obrobitelnost. Mosazi binární se zpracovávají v hutích a polotovary se válcují na plechy.

Korozní odolnost, kterou měď vyniká nad ostatní prvky, se neprojevuje při jejím skladování, či dlouhodobému používání v kyselém prostředí (amoniak, dusičnany, sírany), kde může dojít ke *koroznímu praskání*, které se projevuje při zatížení materiálu. Použití mosazi Ms70 je z hlediska vyvážení využitelných vlastností nejideálnější. Využívá se k operacím tváření s vysokou mírou plastického přetvoření, a proto ji nalezneme jako materiál nábojnic, od čehož získala název mosaz *nábojnicová*.

Pro potřeby tvářecích technologií byla vyvinuta skupina mosazí s nízkým procentem zinku označovaná jako *tombaky*. Obsah zinku je zde do dvaceti procent a jednotlivé skupiny lze rozlišit podle jejich barvy. Ty s nejvyšším obsahem mědi mají barvu červenou, která se snižujícím se obsahem mědi mění přes zlatou (Ms85), po světlou (Ms80). Tvářením za studena se z nich vyrábí výtažky, výlisky výtlačky a nalezneme je jako bižuterii, hudební nástroje (žesťové), pláště střel či dekorální předměty.

Mosazi vícesložkové obecně obsahují přísady pro upravení vlastností základního materiálu pro specifické aplikace, například pro dosažení zlepšené obrobitelnosti, tvrdosti, pevnosti, elektrických či optických vlastností apod.

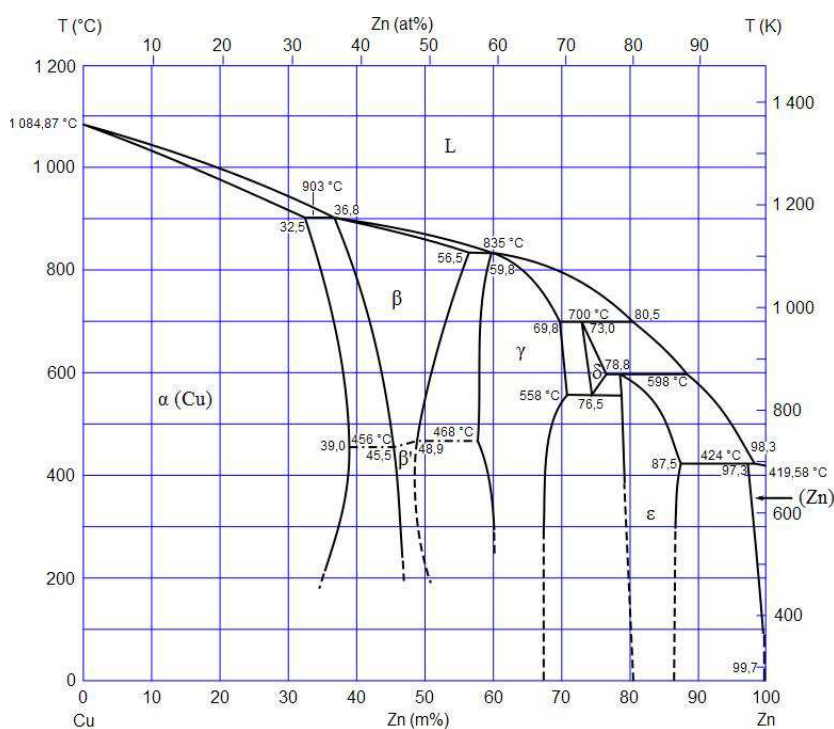
Olovnaté mosazi se využívají všude tam, kde je zapotřebí kombinace mechanických vlastností mosazi spolu s dobrou obrobitelností, kterou přídavek olova zajišťuje. Olovo se ve struktuře vyskytuje jako samostatná fáze, jež pozitivně ovlivňuje lámavost třísky. Ideální obsah přísady jsou 3%, kdy vykazuje mnohem lepší obrobitelnost, než nízkouhlíková ocel. Materiál z této skupiny se nejčastěji využívá pro obrábění šroubů, či pro instalátérské aplikace, kde však hrozí riziko kontaminace vody olovem, proto trend směřuje k minimalizování obsahu olova vzhledem k antimonem.

Cínové mosazi mají dobrou tvárnost za tepla i za studena a lepší korozní odolnost. Po tváření za studena dosahují vyšších hodnot zpevnění. Využívají se při výrobě pružin a elektrických konektorů.

Niklové mosazi oproti ostatním skupinám mají stříbrnou barvu, kvůli které nacházejí využití v optickém průmyslu, potravinářství a pro dekorativní účely.

Mosazi legované manganem, železem, cínem, hliníkem křemíkem a kobaltem jsou využity díky jejich pevnosti a korozní odolnosti. Vyrábí se z nich vysokootáčková ložiska, nebo elektrické kontakty.

Slitina, jejíž vlastnosti a zpracování jsou předmětem bakalářské práce, je mosaz **Ms63**, resp. CuZn37, viz ČSN 42 3213, určená pro všeobecné použití, výrobu chladičů, nýty, pružiny a elektrotechnické součásti a je vhodná pro pokovení.



Obr. 1: Rovnovážný binární diagram Cu-Zn. [4]

2.2. Měď [4][6]

První zmínky o zpracování mědi se váží k archeologickým nálezům starých šperků, či jednoduchých nástrojů z období nadcházejícím po době kamenné. Zpracovávala se nejprve ručně za studena jednoduchými nástroji, později dala základy oboru metalurgie. Hojně se zpracovávala na ostrově Kypr, podle kterého je odvozen její latinský název Cuprum. Místo zpracování určovalo využití hlavně v okolí středozevního moře Řeky, Římány, Egyptany. Nacházela využití zejména pro své mechanické vlastnosti umožňující jednoduché zpracování a pro červenou barvu vyjímající se na špercích. Její schopnost tavit se při relativně nízkých teplotách rozšířila možnosti jak jejího využití, tak i získávání tavením z rudy. V Čechách se měděné rudy těží ve vybraných oblastech východních a západních Čech.

Stejně jako ostatní technické materiály se měď získává z rud, konkrétně sulfidických (chalkozín, covellin, bornit, bournonit, chalkopyrit), oxidu mědi, nebo azuritu. Nejvýznamnější naleziště měděných rud jsou africké státy Zair a Zambie, dále je to Kanada, Polsko Kazachstán a Severní Amerika. Čistý kov se v přírodě nevyskytuje a obsah v zemské rudě se pohybuje kolem 60ppm. Díky malému obsahu mědi v jejích rudách, je nutné rudu nejprve nadrtit a koncentrovat. Koncentrát je obohacen oxidem křemičitým, se kterým se následně taví. Tímto pochodem se separují produkty obsahující železo a měď, která se usazuje na dně pánve v podobě tzv. kamínku. Další pochody probíhají už v kyslíkových konvertorech, jejichž výsledkem je 99,5% surová měď. U té je nezbytná další úprava na vyšší čistotu, která se provádí pomocí elektrolytu, kde se vylučují nečistoty ve formě anodického kalu. Výsledkem je 99,95% čistota. Oproti sulfidickým se rudy oxidické se zpracovávají přímou redukcí koksem. Alternativou k těmto postupům je získávání mědi chemickou cestou.

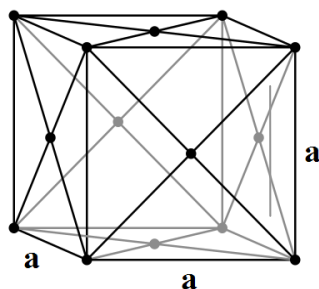
Měď je hojně využívaný neželezný kov ať technicky čistý (99,3% Cu), či ve slitinách s ostatními prvky. Oblíbenost tohoto materiálu pramení z jeho, pro zpracování výhodných, vlastností a také z jeho širokého spektra barev, kterými lze dosáhnout i efektu imitace stříbra. Poslední nesporná výhoda je nízká cena mědi.

V základním stavu se měď vyskytuje s atomovou mřížkou kubickou planicentrickou (viz obr. 2) a hustotou $\rho=8940\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Plošně středěná mřížka, a nízký modul pružnosti $E=1,2\cdot 10^5\text{MPa}$ způsobují vynikající tvárnost čisté mědi a její využitelnost v klempířství, kde není nezbytné vynaložení velké síly na tvarování a spojování plátů lze provádět pájením cínem. V současné době se měď třídí do pěti skupin podle čistoty, se kterou stoupají výhodné mechanické vlastnosti, ale i cena. Při tváření může přetvoření dosahovat až 90% a to i bez mezioperačního tepelného zpracování, tedy žíhání.

Doprovodné prvky přísadové, jakými je cín, zinek, platina, astat, hliník, či naopak nečistoty (olovo) zpravidla snižují její, jinak vynikající, elektrickou vodivost, skrze kterou, nalézá upotřebení při výrobě supravodičů a cívek. Další významnou vlastností je vodivost tepelná, využívaná v tepelných výměnících. Díky dalším přísadovým prvkům měď nalezneme třeba i v lodních zařízeních. Její využití rozšiřuje dobrá odolnost proti atmosférické

korozí, kde působením atmosférické vlhkosti se na jejím povrchu vylučuje vrstvička oxidů, tzv měděnka, zabraňující další reakci s okolím. Proto ji nalezneme jako střešní krytinu, okapy, ozdobné prvky a jiné venkovní dekorační aplikace, v potrubních systémech na rozvod plynů a tekutých médií.

Zmíněno bylo spojování pomocí pájení, ale existuje možnost spojovat měděné díly i svařováním. To však přináší i určitá rizika, v podobě křehkých spojů. Křehkost je způsobena rozpouštěním vodíku ve svarové lázni, následkem čehož vznikají v tuhoucím kovu vodní páry v mědi nerozpustné a právě ty způsobují bubliny či praskliny. Tomuto jevu se říká vodíková nemoc, níže podrobněji popsána v kapitole 2.3. K projevu tohoto negativního jevu stačí koncentrace kyslíku o 0,04%. Olovo, síra, fosfor a další prvky rovněž křehkost zvyšují, proto se svařuje pouze měď nejčistší a bezkyslíkatá. Svařování se provádí technologiemi MIG (metal inert gas), TIG (tungsten inert gas). Lze svařovat i plamenem za použití ochranných prvků – tavidel, například boraxu. Jako přídatný materiál pro spojování se nejčastěji používá měď, či bronz s malým množstvím přísad.



Obr. 2: Kubická plošně středěná mřížka

2.3. Materiálové vady mědi a jejích slitin [10][4]

Všechny technické materiály, měď nevyjímaje, mají i své slabiny, které se projevují zpravidla působením vnějších vlivů v kombinaci s chemickým složením materiálu a jeho mikrostrukturou.

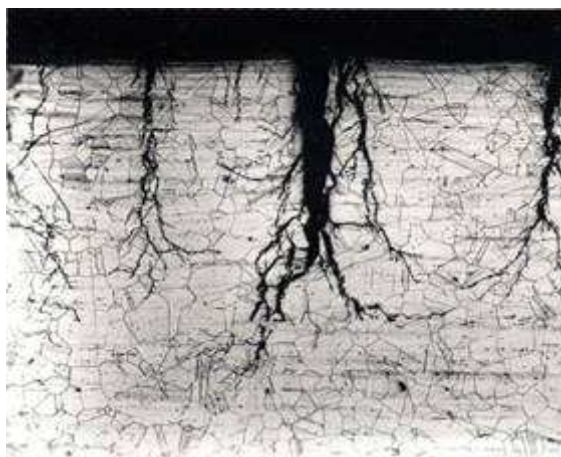
Typický příklad zmíněných projevů je *selektivní koroze*. Ta se projevuje **odzinkováním** povrchové vrstvy buď lokálně (obr. 3), nebo po celém povrchu součásti. Dochází při ní ke snížení obsahu zinku v kontaktní vrstvě, což má za následek vzniku porézní vrstvy a snížení tvrdosti a mechanických vlastností součásti. K popsanému jevu dochází ve stojaté, klidné vodě, hlavně se zvýšeným obsahem kyslíku. Čím vyšší je obsah zinku v součásti, tím je k selektivní korozi náchylnější. Nejjednodušší cesta jak zamezit odzinkování je volba materiálu s nižším obsahem zinku. Náchylnost lze také omezit legujícími prvky, nebo přímo v místě využití změnou vnějších podmínek.



Obr. 3: Projev lokálního odzinkování [10]

Dalším negativním procesem, ke kterému může u mosazí dojít je **vodíková nemoc**. K ní dochází za vyšších teplot zpravidla v atmosférách bohatých na uhlovodíky a jiné vodíkové sloučeniny. Podmínka pro vznik vodíkové nemoci je obsah kyslíku ve struktuře. Z toho vyplývá, že pro tepelné zpracování (*žíhání*) nebo pro svařování za použití acetylenu je nutné použít materiál bez přítomnosti kyslíku. Kyslík uzamčený ve struktuře reaguje za vyšších teplot s vodíkem obsaženým ve slitině a za vzniku vodních par způsobuje interkrystalickou korozi a tak i vznik povrchových trhlin. Ty se projevují při následném zpracování, či užívání výrobku, kde podobné trhliny způsobují praskání, k čemuž dohází zejména u tepelného zpracování za studena. [10]

Korozní praskání způsobuje prostředí, kterému je materiál delší dobu vystaven. Jde o prostředí bohaté na amoniak a vodní páru. Vznik prasklin je soustředěn do míst s lokální korozi, tedy tam, kde byla porušená pasivační vrstva, odkud se šíří praskliny kolmo pod povrch materiálu. Dochází k němu následkem vnějšího zatížení, či vnitřních pnutí způsobených zpracováním. Korozní praskání může probíhat na hranicích zrn (interkrystalické) nebo přes zrna (transkrystalické – viz obr.4).



Obr. 4: Korozní praskání napříč krystaly materiálu [10]

2.4. Tepelné zpracování mědi a jejích slitin [11]

Tepelným zpracováním mědi, stejně jako u ostatních technických materiálů lze dosáhnout výrazných změn vnitřní struktury a tím i vlastností, kvůli kterým tepelné zpracování zařazujeme do cyklu výroby součástí. Stejně jako u ocelí i zde se využívá pochodu žíhání, které obecně spočívá v ohřevu na vyšší teplotu, výdrži a následném ochlazení, které probíhá většinou na vzduchu o běžné pokojové teplotě, či ještě pomalejším ochlazováním v peci.

Rekrytalizační žíhání (které se používá pro říhání Ms63) se u slitin mědi provádí na teplotách 600-700°C, nebo, pro tenkostěnné výrobky na teplotách nižších. Proces probíhá ve vakuu nebo ochranné atmosféře bez přítomnosti vodíku, kyslíku, síry, podle požadavků na výsledný povrch. Vakuum a použitá ochranná atmosféra má za následek dosažení lesklého povrchu. Může se zde však projevit selektivní koroze spočívající v odzinkování povrchu součástí a tudíž i snížení povrchové tvrdosti.

Ostatní mosazné materiály jsou zpracovávány následujícími pochody:

Žíhání ke snížení pnutí slouží ke snížení vnitřních pnutí v materiálu způsobených například předchozím tvářením. Trvá zhruba jednu hodinu na teplotě okolo 300°C. Výsledkem je zvýšení odolnosti proti koroznímu praskání, ke kterému může dojít vlivem kombinace vnějšího prostředí a vnitřních napětí.

Žíhání na měkko probíhá stejným způsobem jako žíhání rekrytalizační, jen za vyšších teplot než je tomu u mosazí se srovnatelnou vnitřní strukturou. Tyto teploty (500-700°C) urychlují změkčení i homogenizaci materiálu.

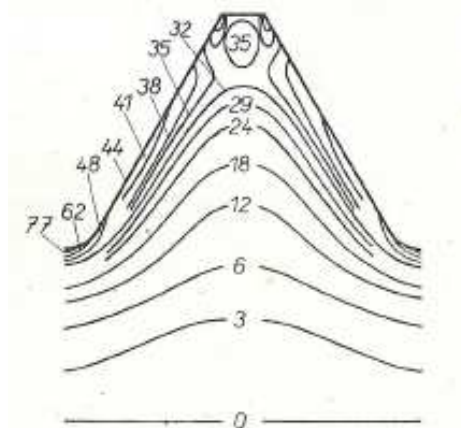
2.5. Technologie výroby závitů tvářením [1]

Netřískové technologie jsou technologie, u kterých během výroby nedochází k úběru materiálu. Jsou využívány pro výrobu hotových součástí bez nutnosti odebírání základního materiálu.

Technologie tváření je z pohledu výroby závitů, oproti klasickému třískovému obrábění, výhodná ve vysoké produktivitě a vysokém využití materiálu, protože není odebírána žádná tříska. Vysoké využití materiálu s sebou nese mnoho výhod. Materiál je nástrojem z části zatlačován směrem ke středu součásti a současně zároveň vytlačován směrem do profilu tvářecího nástroje, čímž je způsobena řada pozitivních jevů. Prvním z nich je zpevnění, dosahující u vnějšího závitu hodnot až 70% původních mechanických vlastností v oblasti mezi středním d_2 a malým průměrem závitu d_1 (viz obr. 5). Čísla v obrázku znázorňují zpevnění následkem tvářecí operace. Je patrné, že je dosahováno i v místech, kam je materiál pouze vytlačován.

Pevnější povrch závitu souvisí s vnitřní strukturou materiálu, kterou si lze představit jako vlákna rovnoběžná s osou vývalku. Při řezání se tato vlákna přerušují a značně se snižují mechanické vlastnosti polotovaru, protože každý další profil zubu působí jako vrub snižující houževnatost základního materiálu někdy i o polovinu. Z toho plyne další výhoda tváření, kdy nám technologie

výroby umožňuje zvolit levnější materiál s nižšími mechanickými vlastnostmi, protože ty se v průběhu tváření zpevněním zvyšují. S principem technologie souvisí i mnohem lepší vlastnosti co se týče koeficientu smykového tření mezi závitem matice a šroubu. Tření je zde výrazně nižší, než u závitu obráběného, což je dáno rovnoměrnou hladkou plochou odolnou proti zadírání. Stlačená povrchová vrstva je také výhodná pro korozní odolnost a zvýšenou vrubovou houževnatost. Jak bylo již zmíněno v úvodu, při výrobě tvářením je dosahováno výrazně kratších časů operací výroby závitů oproti klasickým technologiím obrábění, kde závit je vytvářen na tři kroky. Nehledě na povrch, který na pohled připomíná dokončovací úpravu broušením.



Obr. 5: Oblasti zpevnění závitu [1]

2.6. Způsoby výroby závitů tvářením [1] [9]

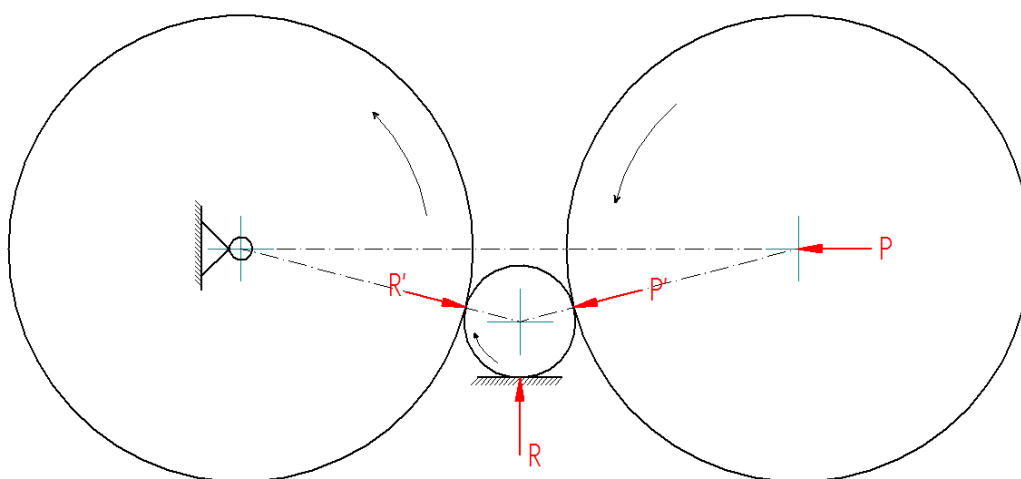
Počátky výroby závitů válcováním mají kořeny ve druhé průmyslové revoluci, tedy na přelomu devatenáctého a dvacátého století v průmyslových velmocích jakými byly Velká Británie a Německo. V té době se začaly zvyšovat požadavky na produktivitu a kvalitu, čemuž válcování naprosto vyhovovalo.

Nejprve se objevily jednokotoučové nástroje připomínající vroubkovací kotouče, které se upínaly do nožové hlavy soustruhu a výroba závitů probíhala zapichovacím způsobem. Vývoj dále směřoval ke dvoukotoučové konstrukci, která tolik nenamáhala polotovary na ohyb.

Zpočátku se výroba prováděla na jednoúčelových tvářecích strojích, zpravidla na dvoukotoučových, kde válcování probíhalo radiálně a přísuv obrobku ke dvěma rovnoběžným pracovním válcům zajišťovalo pravítko, které zároveň plnilo funkci podpěry. Vývoj dále pokračoval pevnými závitovými válcovacími hlavami, až po závitové hlavy otočné a rozevíratelné.

Závity se zpravidla tváří za studena nástroji válcového tvaru, který má nejvýhodnější rozměry z hlediska kombinace kompaktních rozměrů nástroje a v některých případech možnosti válcování obrobků teoreticky nekonečně dlouhých. Takto rozdělené způsoby se dají členit na axiální, radiální, či kombinaci obou.

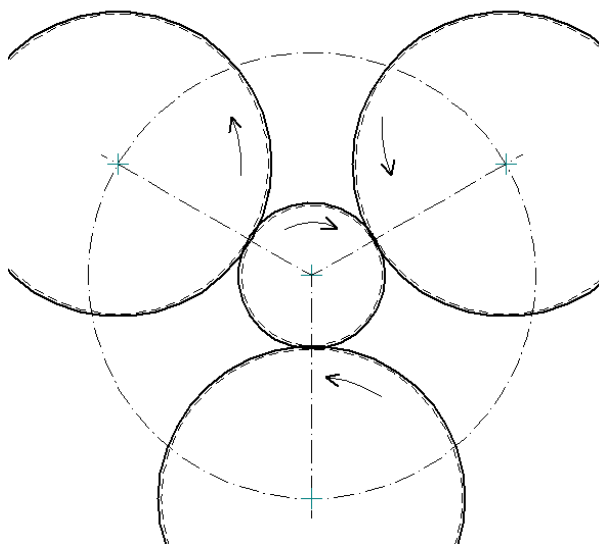
U **radiálního válcování** jde o princip výroby se dvěma kotouči, ke kterým je pomocí pravítka přisunována součást (viz obr. 6), stejně jako je tomu u broušení zapichovacím způsobem. Osy nástroje (z pravidla dvou válců, lze ale použít i tří) jsou rovnoběžné navzájem i s osou obráběné součásti, která však leží v rovině postavené níže, než je rovina os pracovních válců. Oba válce jsou hnané, z nichž jeden je pevný a druhý posuvný, čímž je vyvozena přítláčná síla na vývalek, který je umístěn na pravítku. Je důležité správné nastavení rozteče válců i polohu pravítka tak, aby nedocházelo buď k nežádoucí deformaci, či prokluzování nebo vypadávání materiálu. Pravítko lze nahradit válečkem, pro omezení tření a tím energetických ztrát. U tříkotoučové varianty odpadá pravítko, ale horší zakládání materiálu. Průměr kotoučů je zde omezen. Obr. 6 znázorňuje kinematické schéma. Pravý kotouč koná přísuv, který vyvoluje sílu P , která je přenášena přes negativní profil závitů na vývalek umístěný na pravítku, kde síla P je vyvinutá přísuvem a způsobuje reakce P' a R' , jež mají za následek reakční sílu působící pravítkem na válec.



Obr. 6: Radiální válcování za použití dvou kotoučů

Axiální válcování má oproti radiálnímu tu výhodu, že není zapotřebí speciálních válcovaček, ale k výrobě lze využít válcovacích hlav, které se dají upnout na obráběcí stroj, což odstraní náklady na pořizování jednoúčelového stroje. Není tím však eliminována velká nevýhoda spočívající v nutnosti používání jiné sady válců na každý průměr závitů. Válcovací kotouče pro axiální válcování mají speciální konstrukci s odstupňovaným průměrem tak, že se skládají z náběhu, pracovní části a výběhu. Před začátkem válcování se součást vloží mezi válce, dojde k jejich radiálnímu přiblížení, čímž se dotknou součásti a profil závitů na válcích vyvolá axiální pohyb. Válcovací kotouče se ještě liší podle pracovního profilu. U prvního způsobu, kde jsou osy rovnoběžné s osou vývalku, je profil ve šroubovici. Ve druhém způsobu jsou osy mimoběžné a pracovní profil je tvořen pouze rotačními plochami s profilem závitů avšak s nulovým úhlem stoupání. Kombinací těchto dvou způsobů docílíme tzv. *diferenciálního uspořádání*, využívaného pro výrobu

závitů s vysokou hodnotou stoupání. *Válcovací hlavy* se skládají ze tří nepoháněných a nesynchronizovaných kotoučů. Tři jsou z hlediska rovnoměrnosti záběru a geometrické přesnosti nejideálnější. Většího počtu pracovních válců se využívá jen u velkých jmenovitých průměrů závitů, například pro výrobu metrického závitu M200 lze použít kotoučů šest, což má za následek snížení napětí na jednotlivých kotoučích a jejich hřídelích. Na rozdíl u axiálního válcování se na válcovacích hlavách během chodu nic nemění a jsou nastaveny před začátkem práce na konkrétní průměr závitu. Po seřízení hlavy se připravený vzorek s kuželovým náběhem vloží do místa záběru, kam je přitlačován silou a rychlostí zamezující prokluzování. Válcem svou konstrukcí určují počet otáček nutných k výrobě jednoho stoupání. Dva z nich mají profil snížený určený pro předtváření závitu a třetí operaci dokončuje, kalibruje. Samotný závit, respektive axiální složka síly vznikající při výrobě na bocích profilu závitu mají za následek přísuv materiálu do záběru.



Obr. 7: Axiální válcování závitu mezi třemi kotouči

Kombinací obou předchozích způsobů vznikne válcování **radiálně-axiální** určené pro profily se značnou hloubkou závitu. Kotouče konají přísuv do záběru a vývalek se axiálně posouvá až do konce, kde se přepne smysl otáčení a součást se vrátí nazpět a tak se válcuje na více průchoďů.

Posledním způsobem, který lze použít k výrobě závitů je **příčné klínové válcování**. Jde o nejméně přesnou technologii využívanou pro rozměrné součásti vyráběné za tepla se závitů vysokého stoupání. Nejčastěji nachází využití pro závitů lichoběžníkové, nebo šneky pro šneková soukolí s evolventním profilem zubů. Princip příčného klínového válcování spočívá ve válcování rotační součásti mezi dvěma profily s postupně rýsujícím se negativním tvarem vývalku, které jsou buď součástmi kotoučů, nebo rovných či kruhových válcovacích lišt řízených klikovým mechanismem. Pracovní válců jsou jedna metoda, druhou možností je použití válcovacích lišt. Ty mají tvar klínů, které se posouvají proti sobě, mezi nimiž je usazena součást, která se po nástroji odvaluje a vytváří se na ni požadovaný profil závitu. Hlavní

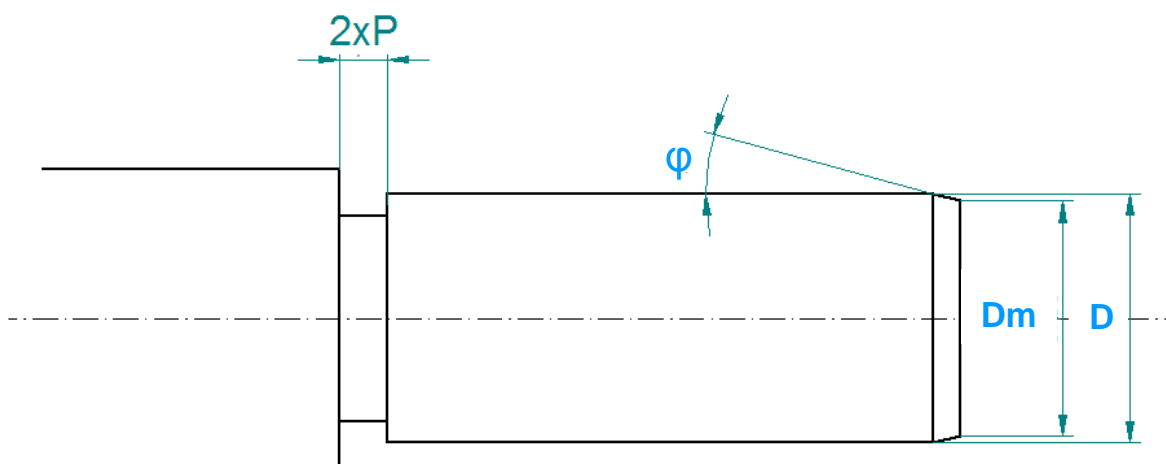
nevýhody technologie příčného klínového válcování spočívají v nutnosti pořizování drahých jednoúčelových strojů a ke každé rozměrové variantě výrobků i nové pracovní válce nebo čelisti. Další omezení spočívá v nízkém stupni přesnosti výroby. Pomocí klínového válcování není doporučeno vyrábět drobné závity a poslední významnou nevýhodou, která může za nevyužití této technologie je složitost návrhu rozměrů polotovaru, protože během výroby, vlivem tečení materiálu, se polotovar prodlužuje. Velikost se stanovuje experimentálně a zanáší do tabulek. Nejčastější využití nachází pro výrobu závitů do průměru 39mm.

2.7. Válcovací hlavy [7]

Válcovací hlavy jsou určeny pro, již zmíněné, axiální válcování. Zjednodušeně by se daly válcovací hlavy rozdělit na **průběžné** a **neprůběžné**, podle délky materiálu, kterou umožňují válcovat. Oba dva typy je možno použít na soustruzích nebo jiných strojích s hlavním pohybem rotačním, jako vrtačky. Limit délky se vztahuje pouze na hlavy neprůběžné, ostatní průběžné jsou teoreticky určeny pro nekonečné délky, prakticky jediné omezení je dáno konstrukcí obráběcího stroje. Pro válcování závitovými hlavami, výrobce (Narex) udává podmínku $R_m \leq 0,9 \text{ MPa}$ pro pevnost válcovaného materiálu, kde pevnost v tahu nesmí překročit 0,9MPa a tažnost materiálu má být minimálně $A \geq 8\%$. Podmínky jsou uvedeny tak, aby proces byl co nejekonomičtější a nejchopitelnější z hlediska opotřebení nástroje, výkonnostních charakteristik stroje atp. Stejně jako u klasického obrábění, kde jsou k různým materiálům přiřazeny různé, empiricky získané, hodnoty řezné rychlosti, tak i u válcování jsou k nejčastěji používaným materiálům doporučené tabulkové rychlosti válcování, kde pro mosaz Ms63 se rychlost pohybuje v rozmezí $70\text{-}90 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.

Při vysokých rychlostech a tlacích je za potřebí použití chladicího (zároveň mazacího) media, nejčastěji oleje. Je také nutné sledovat čistotu tohoto media, protože olej znečištěný šponami by snižoval životnost nástroje a kvalitu vzniklých ploch. Další zásadou pro správné využívání hlav je údržba kotoučů. Z důvodu vzniku povrchových napětí, vedoucích ke snížené životnosti, je třeba provádět tepelné zpracování, kterým se nežádoucí účinky odstraní. Zpracování spočívá v ohřevu na teplotu rekrytalizačního žhání s následným ochlazováním na vzduchu, čímž se odstraní napětí vzniklé používáním.

Před započítím práce je také nutno náležitě upravit polotovary k válcování. Vytvoří se náběh sloužící k zavedení a správnému vystředění a výběh k ukončení závitu. Na obr. 8 je patrná potřebná úprava součástí. Úhel náběhu ϕ se pohybuje mezi 15° pro ostrý závit (metrický) a 12° pro závit lichoběžníkový.



Obr. 8: Úprava součásti před válcováním [7]

2.8. Profily válcovaných závitů a polotovar [1]

Ve válcovacích závitových hlavách lze válcovat pouze závity, jejichž průměr se spolu s délkou nezvětšuje, tedy závity na tyčích, trubkách, tedy válcové závity. Kuželové lze vyrábět pouze zapichovacím způsobem na válcovacích strojích.

Jak již bylo řečeno, závitová hlava z části materiál zatlačuje na jádro součásti a z části jej vytlačuje ven do nástroje. Z tohoto principu lze usoudit, že ideální závit pro výrobu bude takový, který má na středním průměru d_2 shodnou šířku závitového profilu s mezerou. Tím zjišťujeme, že se daleko lépe bude vyrábět například závit metrický oproti závitů na vrutu do dřeva. Polotovar tedy bude mít vždy průměr takový, který bude ležet mezi malým a velkým průměrem závitu.

Z principu pohybu částic materiálem při výrobě plyne, že vhodnější je ostré dno drážky mezi závity, protože částice se pohybují směrem od malého průměru d_3 k velkému průměru d_1 , takže dráha částice u lichoběžníkového závitu bude opisovat delší trajektorii než u závitu metrického, takže bude zapotřebí vyvinutí větší energie potřebné k přetvoření základního materiálu. Důležitý je také sklon profilu závitu takový, který není příliš strmý, kolmý na osu šroubu, nebo dokonce záporný.

Pro výrobu závitů bude vždy vhodný závit metrický, trubkový a Withworthův, oproti závitů lichoběžníkovému rovnoramennému, který má úhel závitu 15° a ostré dno a úplně nevhodný lichoběžníkový nerovnoramenný s jedním bokem zubu kolmým k ose závitu.

2.9. Konstrukce válcovacích hlav [1]

Válcovací hlavy se zpravidla sestávají ze tří válečků excentricky uložených v čepech rozmístěných na kružnici po 120° a uzpůsobených tak, že svým náběhem, stejně jako je tomu u válcovaného polotovaru umožňují bezpečné najetí a vystředění. Nástroj je vyroben z nástrojové oceli s požadovanou tvrdostí 60 HRC (nejčastěji ocel 19 436, 19 712 nebo 19 460). Materiál totiž musí splňovat požadavky na trvanlivost, přesnost a cenu. K jejich výrobě se využívá technologie zapichovacího broušení, nebo válcování materiálu ve stavu žíhaném na měkko a následně tepelně zpracovaném kalením a popouštěním.

Je třeba rozeznávat mezi válcovaným závitem levochodým a nebo pravochodým. Záleží totiž na pořadí, ve kterém pracovní válečky vstupují do záběru, protože dva z těchto tří kotoučů mají snížený profil z důvodu zavedení do záběru a předválcování, a třetí z nich plní úlohu kalibrace a dokončení. Tímto způsobem se jeden závit stoupání vytvoří po třech otáčkách hlavy. Možný dosažitelný úhel stoupání lze u některých hlav nastavit pomocí natočení čepů kotoučů v rozsahu do 5° . Při nastavení jiného úhlu stoupání, než je daný negativním profilem na válečku je pro dosažení hodnoty stoupání závitu na tvářené součásti nutné sečíst úhel sklonu válečků a úhel stoupání na nich. Tento způsob je označován za *diferenciální*.

Jak již bylo zmíněno, válcování může probíhat na různých obráběcích strojích, a podle toho také rozdělujeme jednotlivé nástroje na **otočné** a **pevné**.

Otočné se upínají do vřetena a válcují nehybný polotovar. Veškeré pohyby, rotaci a posuvný pohyb, provádí hlava, takže je nezbytné, aby vřeteno, mělo možnost osového posuvu. Ukončení záběru zajišťuje doraz, který pomocí výstředníků rozevře čelisti. Pružinami je též zajištěn přítlak při výrobě. Vypnutí ze záběru způsobuje stavěcí dorazový šroub. Při kontaktu s ním se čelisti přes spojku mechanicky rozeprnou a tím je zamezeno dalšímu posuvnému pohybu a případnému znehodnocení nástroje, stroje a materiálu. Hlava lze zapínat jak za klidu, tak za chodu stroje. Za klidu k zapnutí slouží rukojeť, za chodu zapneme hlavu pomocí spojky.

Neotočné hlavy jsou z hlediska konstrukce daleko jednodušší než hlavy otočné a tím pádem jsou v použití oproti otočným historicky napřed. Upínají se, na rozdíl od otočných, do nástrojového držáku. V případě soustruhu bude hlava upnuta v nožové hlavě na suportu a bude zajišťovat posuvný pohyb. Rotaci naopak zajišťuje universální sklíčidlo, ve kterém je upnuta tvářená součást. V případě vrtačky bude oba pohyby konat hlava upnutá ve vřetenu vrtačky, které je také schopno konat axiální pohyb, takže polotovar je nehybný a všechny pohyby koná vřeteno. Jak již bylo řečeno, hlava se upíná za přesnou stopku do nástrojového držáku, tedy vřetena, nožové hlavy nebo revolverové hlavě obráběcího stroje. Rozevírání čelistí je zde zajištěno opět pákou přes spojku a pružinu, není ale zapotřebí použít dorazový šroub.

Existují ještě hlavy **kombinované**, které se dají modifikovat podle potřeby na otočné, či pevné.

U všech těchto hlav je možno nastavovat rozteč válečků a tím i jmenovité průměry tvářených závitů. Dále lze seřizovat stoupání závitů. Z hlediska velikosti rozměrů, které lze na obou typech hlav, tedy jak otočných, tak i těch

pevných, tvářet jsou jemnější hlavy pevné u kterých se hodnota jmenovitého průměru závitu pohybuje od M3 do M10 a stoupání od 0,5 do 1,5mm.

3. Experimentální část

Cílem experimentu bakalářské práce je porovnání dvou různých vzorků trubek z materiálu Ms63, určených pro válcování závitů při výrobě svorníků ověsových svítidel. Přesto, že se podle označení jedná o identické materiály a polotovary, jeden z hodnocených nelze pro výrobu delších závitů vůbec použít. Je třeba porovnat oba vzorky materiálu z hlediska geometrie, vnitřní struktury materiálů a mechanických vlastností. Dále analyzovat i jednotlivé hlavní technologické podmínky výroby válcovaných závitů a tím stanovit příčinu uváděných technologických problémů.

3.1. Válcování závitů ve výrobním procesu společnosti DBK Glass s.r.o.[7]

Technologie válcování závitů ve společnosti DBK Glass s.r.o. je prováděna pomocí seřiditelné axiální válcovací hlavy zn. Narex. Samotné válcování se provádí na upraveném poloautomatickém revolverovém soustruhu R16. Závity se válcují v různých délkách od 10mm až do 130mm. Rozměr válcovaných závitů je M10 x 1,5mm. Polotovarem pro válcování jsou trubky z Ms63 o průměru 10mm a tloušťce stěny 1,5 mm. Válcování ovlivňují následující faktory. Mechanické vlastnosti i způsob ustavení samotné válcovací hlavy ovlivňují dosažitelný výsledek a proto je třeba dbát na výběr materiálu i na přípravu stroje, na kterém bude operace válcování probíhat. Z materiálových vlastností to jsou zejména ty, které se dají zjistit pomocí statické tahové trhací zkoušky (lépe však z křivek tečení), tedy mez pevnosti v tahu, napětí na mezi kluzu, modul pružnosti a tvářitelnost. Obecně lze říci, že materiál je válcovatelný, splňuje-li mez pevnosti podmínku $R_m \leq 0,9 \text{ MPa}$ a tažnost $A \geq 8\%$. V případě, že uvedené hodnoty nejsou dodrženy, hrozí vznik geometrických nepřesností, které mají vliv na pozdější funkčnost a využití součásti (viz obr. 9). V krajních případech mohou nastat situace, kdy se znehodnotí buď válcovaný materiál, nebo pracovní válečky válcovací hlavy.

Geometrické nepřesnosti vznikají špatně zvoleným materiálem, nevhodnou úpravou náběhové hrany, nebo špatným seřízením samotného nástroje. Tyto parametry byly z okruhu technologických vlivů vypuštěny po opětovné kontrole seřízení nástroje a vymezení vůlí používaného stroje a upínacího přípravku. Samotná válcovací hlava je upnuta pomocí Morseho kužele II, přímo v otočné revolverové hlavě soustruhu R16. Po odzkoušení různé úpravy náběhové hrany pro oba používané materiály, byl eliminován i tento vliv.

Oproti špatnému ustavení a seřízení hlavy, kterému se dá předejít nebo následně měnit, mají větší význam materiálové vlastnosti. Při vysoké pevnosti materiálu například nezískáme požadovaný velký průměr závitu, proto mez pevnosti snižujeme tepelným zpracováním respektive žíháním na měkko. Správného velkého průměru závitu také nedosáhneme v případě, kdy tažnost materiálu je nižší, než uvedená požadovaná hranice, v té chvíli je třeba zvýšit válcovací rychlost. Vhodné je, před tvářením součást vyžít, aby se předešlo nehomogenitám, způsobujícím nedovolené obvodové

házení. U hlav, které umožňují nastavení úhlu stoupání, je třeba správně nastavení výstředníkových čepů.



Obr. 9: Eliptický průřez vyválcovaného závitu

3.2. Mosaz Ms63 [12]

Mosaz je slitina mědi a hlavní legury zinku, který v objemu materiálu Ms63 respektive CuZn37 zastupuje přibližně 37%. Základní chemické složení mosazi Ms63 je uvedeno v tab. 1.

Tab. 1. Hmotnostní zastoupení jednotlivých složek v Ms63 [12]

Obsah [hm. %]	Měď	Cín	Olovo	Železo	Ostatní	Zinek
ČSN 42 3213	62,00–65,00	0,00–0,15	0,00–0,20	0,00–0,25	0,00–0,50	zbytek
Almio, s.r.o.	62,00-64,00	0,10	0,05	0,10	0,15	zbytek

V tabulce jsou uvedeny maximální hodnoty hmotnostního obsahu jednotlivých prvků materiálu daného normou ČSN 42 3213. Po porovnání s obsahem zaručovaným dodavatelem, firmou Almio s.r.o. se zjistilo, že tolerance procentuálního obsahu stanovené dodavatelem jsou přísnější než normalizované hodnoty, čímž je zaručeno složení používaného materiálu.

Ms63 se obvykle dodává ve formě plechů, pásů, desek, trubek a tyčí ve stavu tvářeném, měkkém, tvrdém a pružinově tvrdém. Použité trubky jsou dodávány ve stavu tvářeném a vnější rozměry jsou normalizovány podle normy ČSN 42 8707. Norma ČSN 42 3213 udává následující základní mechanické vlastnosti. Smluvní mez kluzu $R_{p0,2}=120\text{MPa}$, napětí na mezi pevnosti $R_m=345\text{MPa}$, tažnost $A_{200}=40\%$, tvrdost podle Brinella 60-85HB modul pružnosti $E=9,8 \cdot 10^5\text{MPa}$. Při tváření se využívá tepelného zpracování pro obnovení plasticity, tedy rekrytalizačního žíhání, což je zároveň jediné tepelné zpracování pro polotovary z Ms63.

Slitina Ms63 v našem případě nachází využití při výrobě svítidel, stolních lamp a lamp závěsných, kde zajišťuje funkci stojiny, nebo svorníku z obou stran opatřené závitem. Další využití slitina nachází v tepelných výměnících,

součástkách v elektronice, pružinách nebo tam, kde je potřeba povrchové úpravy pokovením, ať z důvodů dekorativních nebo z důvodů zlepšení korozní odolnosti, protože s přibývajícím obsahem zinku korozní odolnost klesá.

3.3. Rozměry polotovaru a vývalku

Jako polotovar pro výrobu je používána trubka Tr Ø 10x1,5 ČSN 42 3213.02. ve stavu tvářeném. Dodavatel materiálu je spol. Almio s.r.o. Trubka, která je polotovarem, je dodávána firmou Almio s. r. o., Vnější průměr trubky ØD = 10mm je kalibrován s normalizovanými odchylkami dle EN 12449, vnitřní netolerovaný ød = 7mm. Rozměry používaného polotovaru byly ověřované měřením posuvným měřítkem na pěti různých místech polotovaru. Získané výsledky jsou uvedeny v tab. 2.

Tab. 2: ověření rozměru dodávaných trubek

	Průměr	1	2	3	4	5	Výsledná průměrná hodnota	Směrodatná odchylka
Vzorek č. 1	ØD [mm]	10,08	9,99	10,03	10,05	9,99	10,03	0,035
	Ød [mm]	7,37	7,36	7,39	7,38	7,33	7,36	0,021
Vzorek č. 2	ØD [mm]	9,99	10,09	10,02	10,03	9,91	10,01	0,059
	Ød [mm]	7,30	7,39	7,68	7,61	7,68	7,53	0,157

3.4. Hodnocení materiálových vlastností vzorků

3.4.1. Statická zkouška tahem [16]

Tahová zkouška je normalizovaný proces probíhající na jednoúčelových trhačích strojích podle evropské normy EN ISO 6892-1. Spočívá v natahování zkoušeného vzorku materiálu (plochého pro plechy, válcového pro tyčovinu) konstantní rychlostí až porušení vzorku. Tímto způsobem se stanovují mez kluzu, mez pevnosti, tažnost a popř. i další charakteristiky materiálu.

Pro zkoušku byl použit univerzální statický trhačí stroj TIRAtest 2300. s tenzometrickou snímací hlavou o rozsahu 100kN.

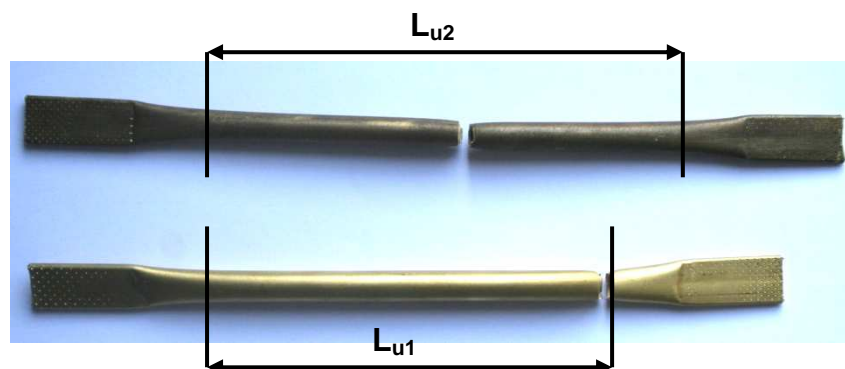
Protože vzorkem nebyla plná zkušební tyčka, ale část trubky odebrané z materiálu používaného ve výrobě, bylo třeba ji pro zkoušku upravit. Vzorky trubek pro tahové zkoušky se upravují jinak, než je tomu u ostatních kruhových materiálů. Bylo proto provedeno slisování okrajů umožňující upnutí do trhačího stroje. Do konců trubek upevněných v čelistech lze také vkládat válcové vložky, čímž se odstraní nutnost jejich slisování. Naopak u průměrů přesahujících konstrukční možnosti daného stroje se podélně odebírá vzorek s průřezem kruhové výseče mezikružím. V našem případě, kdy vnější

průměr trubky je deset milimetrů, bylo provedeno slisování k usnadnění upínání do trhačího stroje (viz obr. 10).

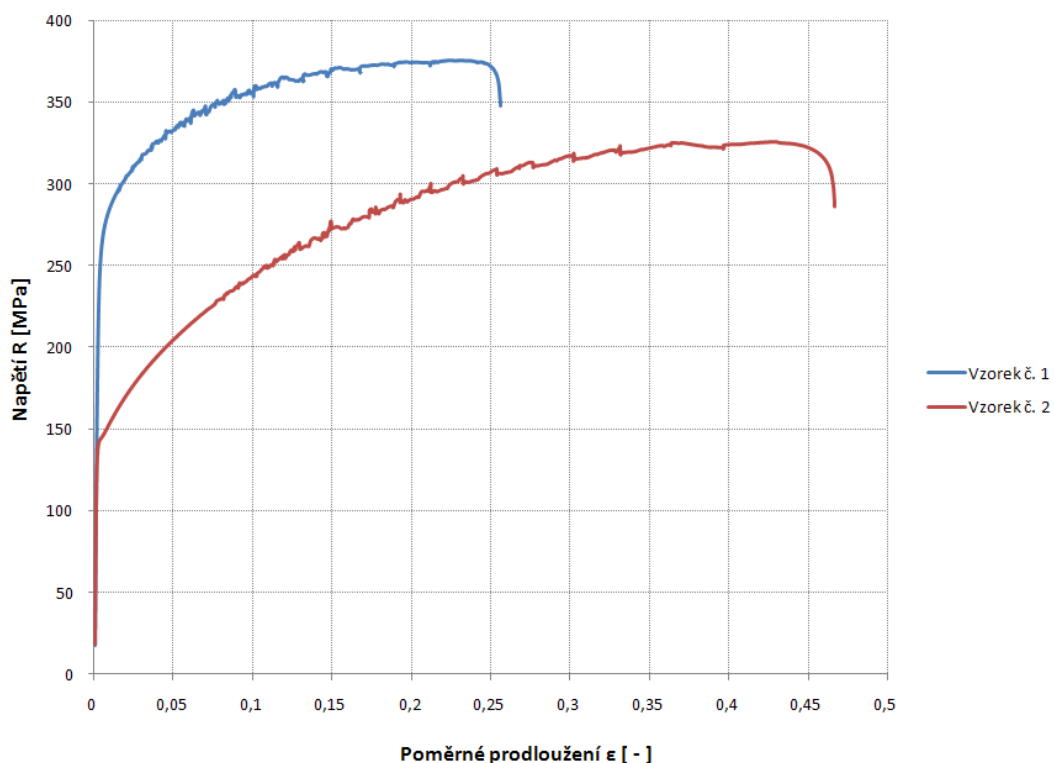


Obr. 10: Upnutý vzorek zkoušeného materiálu do čelistí trhačího stroje s připojeným průtahoměrem

Zkouška byla provedena pro oba zkoumané vzorky materiálu (viz obr. 11) zatěžovací rychlostí 10mm/min a výsledky byly zaznamenány do tabulky 3. Na obr. 10 je patrné upnutí upraveného zkoušeného vzorku po přetržení do plochých čelistí trhačího stroje. Na obou koncích tyčinky je ustaven průtahoměr snímající aktuální deformaci. Počáteční délka vzorku byla $L_0 = 80$ mm. Průtahoměr snímá aktuální prodloužení vzorku a data přenáší do počítače, kde software dodávaný výrobcem v reálném čase ukazuje a zaznamenává aktuální průběh zkoušky.



*Obr. 11: Přetržené zkušební tyčinky
Nahoře vzorek č. 2, dole vzorek č. 1*



Obr. 12: Pracovní diagram statické tahové trhací zkoušky

Záznam pracovního diagramu statické trhací zkoušky pro oba materiály je uveden na obr. 12. Již na první pohled je zřejmé, že ačkoli se jedná o stejné materiály, jejich mechanické vlastnosti jsou zcela odlišné. Vzorek č. 1 má výrazně vyšší hodnoty meze kluzu a meze pevnosti a zároveň nižší tažnost. I přes velké rozdíly jsou hodnoty pevnosti pro oba materiály v tolerančním poli dle materiálového listu. (Výrobce udává R_m 300-380 MPa - vzorek. č. 1 leží těsně nad horní hranicí). Po provedení zkoušky jsou oba materiály na první pohled od sebe odlišitelné rozdílnou délkou po přetržení L_u (obr. 11).

Tab. 3: Výsledky tahové trhací zkoušky

Vlastnost	Jednotky	Vzorek č. 1	Vzorek č. 2
Mez kluzu $R_{p0,2}$	MPa	$269,8 \pm 1,22$	$147,7 \pm 2,32$
Mez pevnosti R_m	MPa	$383,3 \pm 0,39$	$334,8 \pm 1,20$
Tažnost A_{80mm}	%	$24,6 \pm 1,58$	$46,4 \pm 0,75$

3.4.2. Měření tvrdosti [16]

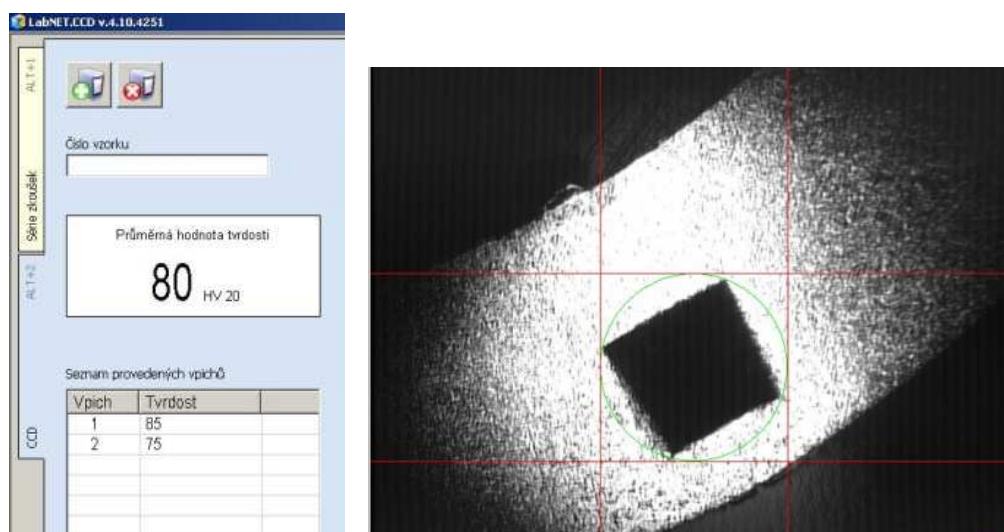
Měření tvrdosti lze provádět různými metodami. Každá z nich probíhá vtlačováním zkušebního tělíska do základního materiálu a odečítá se buď hloubka, nebo velikost vtisku, podle čehož se následně určuje, většinou za pomoci stanovených konstant, tvrdost.

Pro měření tvrdosti zkoušených vzorků mosazi byl použit princip Vickersovy metody na tvrdoměru **WPM**, firmy VEB (Werkstoffprüfung Maschinen) s možností přenosu dat do počítače. Provedeno bylo pět vtisků pro každý vzorek a výsledky byly zaznamenány do tabulky 4. Tvrdost byla měřena se zatížením 20kg, tedy 196N po dobu 10s, z čehož plyne označení HV 20.

Po provedení zkoušky je patrné, že vzorek č. 1 je tvrdší než vzorek č. 2. Rozdíl v obou tvrdostech, vzhledem ke směrodatné odchylce, není tak významný, aby mohl ovlivnit výrobní technologii válcování závitů.

Tab. 4: Hodnoty tvrdosti zkoušených materiálů měřené podle Vickerse

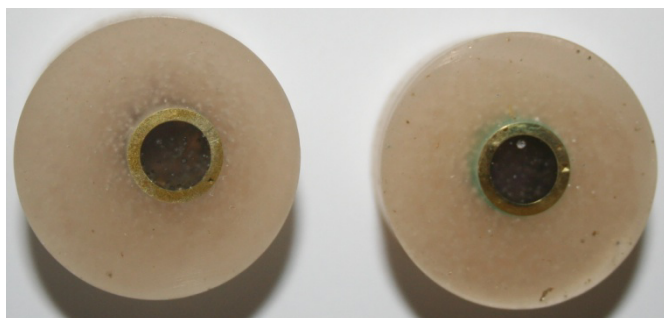
Měření	1	2	3	4	5	Průměrná hodnota tvrdosti HV20	Směrodatná odchylka
Vzorek č. 1	85	80	87	84	86	84	2,70
Vzorek č. 2	80	75	81	83	80	80	2,95



Obr. 13: Labnet – software k měření tvrdosti

3.4.3. Metalografický rozbor [10] [14]

Pro zjištění vnitřní struktury a předpokládaných odlišností v mikrostruktuře obou vzorků bylo použito mikroskopu Neophot 21, s přenosem obrazu do počítače. Snímky z mikrostruktury jsou uvedeny na obrázcích 15 a 16.



*Obr. 14: metalografické výbrusy připravené pro mikroskopii
Vlevo vzorek č. 1, vpravo vzorek č. 2*

Pro sledování připraveného vzorku (obr. 14) je třeba správného postupu, aby byla zajištěna kvalita a neporušení sledované struktury. Nejprve je třeba odebrat vzorek z celku, který je předmětem zájmu, tedy přibližně dvacet milimetrů délky z obou trubek. Vzorek je třeba odebírat metalografickou pilou za nepřetržitého chlazení z toho důvodu, aby nedošlo k tepelnému ovlivnění pozorované oblasti a tím vzniku jiné struktury než je ta základní. Celý vzorek je umístěn do formy, ve které se zalévá Dentacrylem a který během 24 hodin ztuhne. Mimo zalévání lze také lisovat vzorek do prášku speciálním metalografickým lisem, nebo pouze upnout do svěráku, či ponechat bez úprav, což se hodí pro rozměrnější vzorky. Zalití, kvůli malým rozměrům je v tomto případě výhodnější, jak z hlediska manipulace, tak kvůli následné přípravě. Vzorek se dále brousí na sadě brusných papírů, které se volí se sestupnou hodnotou zrnitosti (od hodnoty velikosti zrn cca 50 μ m – brusný papír označen číslem 220, po 15 μ m, značeno 1000), aby bylo zaručeno vyhlazení povrchu, protože před leštěním nesmí být patrné stopy po broušení.

Následné leštění probíhá mechanicky v leštící suspenzi s rozptýlenými leštícími diamantovými krystaly, které jsou nejuniverzálnější, použitelné pro všechny leštící aplikace, zato však nejdražší. Použitá suspenze má funkci smáčedla i chladiwa.

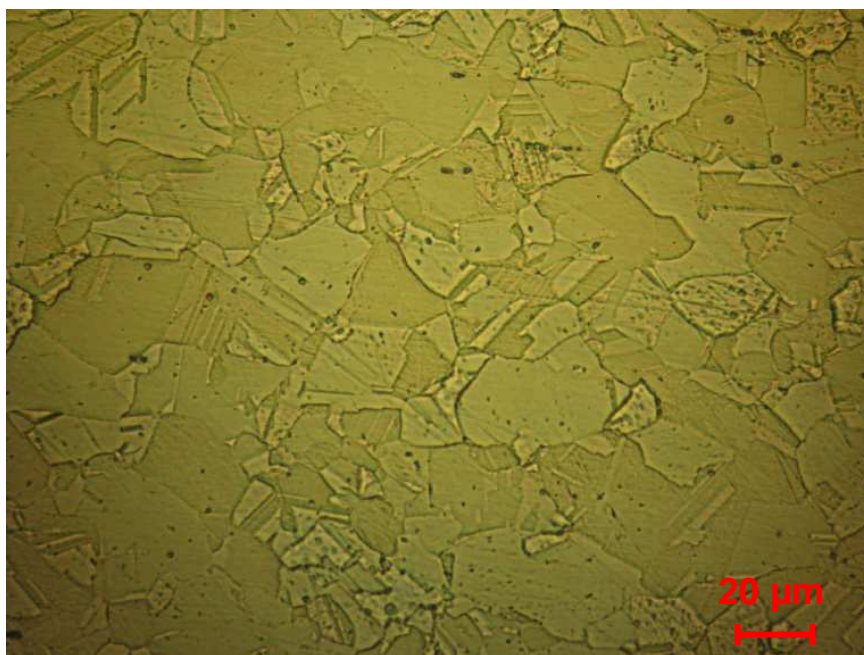
Během leštění, vzniká na povrchu součásti nežádoucí Bielbyho vrstva, která ovlivňuje výsledek pozorování. B-vrstvu lze do jisté míry zmírnit použitím dostatečného množství chladiwa, ale výsledek není nikdy stoprocentní, tudíž je třeba na konec přípravné fáze zařadit leptání, kdy vyniknou jednotlivé hranice zrn a zčásti se odstraní tvářená B-vrstva.

Po mechanické přípravě následuje chemické leptání, které se provádí roztokem dichromanu draselného (v množství 2g), kyseliny sírové (v objemu 8ml), nasyceného roztoku chloridu sodného (4ml) ve vodě (100ml). Zkoumaný povrch se roztokem potře a nechá se zhruba půl minuty působit. Protože MS63 je tuhý roztok, kvůli zvýraznění textury se leptá na hranice zrn a také kvůli odstranění Bielbyho vrstvy. Hranice zrn tímto pochodem získají požadovaný kontrast se zrny fází a tím se struktura stává lépe pozorovatelnou. Po osušení je vzorek připraven k pozorování. Získané zvětšené snímky výbrusů jsou vidět na obr. 15 a 16.

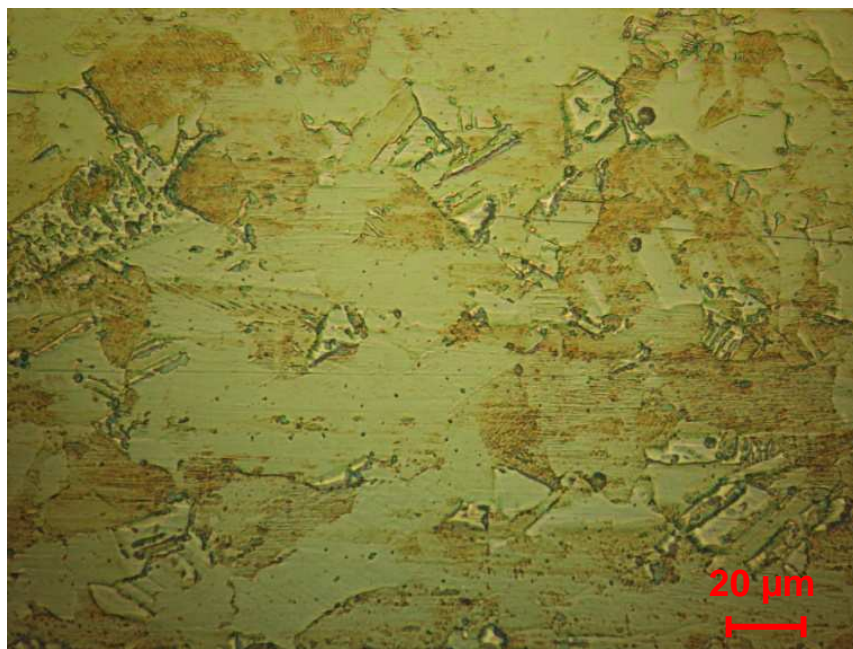
Na snímcích (obr. 15, 16) pořízených mikroskopem Neophot 21 je vidět struktura obou vzorků 50x zvětšená. Na obr. 15 je struktura vzorku č. 1, tedy

tvrdšího. Zrna oproti vzorku č. 2 (obr. 16) jsou o poznání menší a četnější, což tedy znamená, že výsledná struktura bude tvrdší a pevnější. To souhlasí se závěry tahové zkoušky a měření tvrdosti.

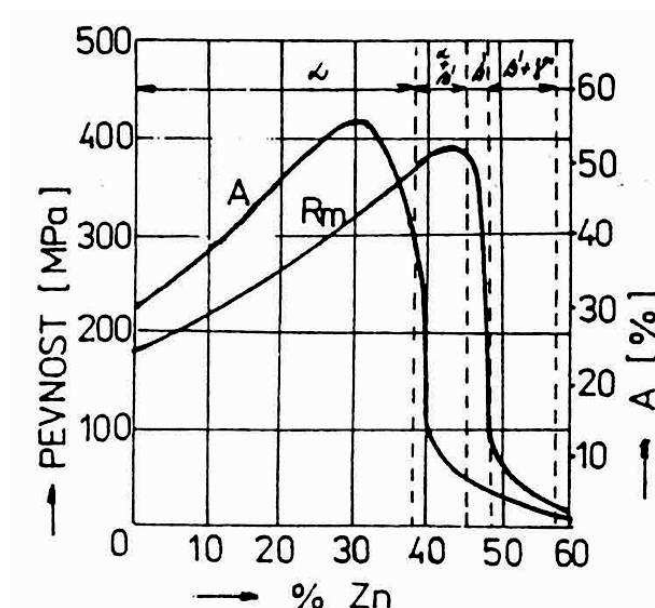
Z diagramu na obrázku 17 je patrné, že v rozmezí procentuálních hmotnostních obsahů se vlastnosti slitin mědi se zinkem výrazně mění s každým přibývajícím procentem zinku. V případě zaručených hmotnostních obsahů výrobcem pro slitinu Ms63 (62–64%) se jedná i o rozdíl 50MPa v napětí na mezi pevnosti v tahu.



Obr. 15: vzorek č. 1 (zvětšeno 50x)



Obr. 16: vzorek č. 2 (zvětšeno 50x)



Obr. 17: Diagram vlivu obsahu zinku na mechanické vlastnosti mosazí

3.4.4. Rozměry závitu po válcovací operaci

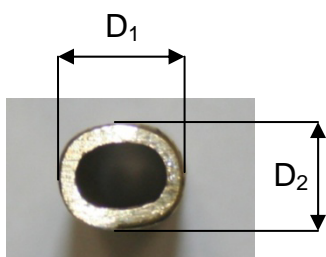
Na obou zkoumaných vzorcích byla provedena válcovací operace, kdy pouze jeden ze vzorků (vzorek č. 2) byl vhodný pro využití pro tuto operaci.

Díky nevhodným materiálovým vlastnostem vzorku č. 1, se po operaci válcování vyskytly u konce závitu eliptické deformace. Tyto deformace zabraňují správnému využití a jsou tudíž vysoce nežádoucí. Rozměry obou závitů a jejich deformace jsou uvedeny v tabulce 5 (viz obr. 18 a 19).

Tab. 5: Rozměry vyválnovaného závitu – vzorek č. 1

Vzorek	Rozměr	1	2	3	4	5	Aritmetický průměr	Směrodatná odchylka
1	D ₁ [mm]	10,48	10,42	10,44	10,50	10,49	10,46	0,034
	D ₂ [mm]	8,68	8,73	8,72	8,69	8,76	8,71	0,032
2	D ₃ [mm]	9,66	9,88	9,79	9,87	9,80	9,80	0,088

D₁ je rozměr vzorku č. 1 v jeho nejširším místě, D₂ je průměr vzorku č. 1 v nejužším místě a průměr D₃ je průměr vzorku č. 2. (ten je kruhový)



Obr. 18: Vzorek č. 1



Obr. 19: Vzorek č. 2

4. Závěr

Cílem práce bylo zjistit příčiny technologických problémů při výrobě válcovaných závitů na svornících z Ms63. Pro experiment byly použity dva materiály různé šarže stejné jakosti. (Výše označené jako vzorek č.1 a č.2). Dodavatelem materiálu byla firma Almio, s.r.o, Technologie výroby závitů byla axiální válcování, kterým se na obou koncích válcované trubky Tr Ø 10 x 1,5 ČSN 42 3213.02 válcováním závit v délce až 100mm. Měřením se prokázalo, že první používaný materiál (vzorek č. 1) je pro danou technologii nepoužitelný z důvodu vyšší pevnosti. Naměřena byla hodnota 383,3MPa. Při vlastním válcování závitu dochází k vývinu vysoké tvářecí síly a stěna trubky toto napětí již nevydrží a zbortí se v eliptický průřez. Vznikne tak geometrická nepřesnost, znemožňující správné použití závitu jako mechanického spoje. Vzorek č. 2, má hodnotu meze pevnosti v tahu změřenou na trhacím stroji 334,8MPa, což je o 47,5MPa méně, než u vzorku č. 1. tento materiál je pro válcování závitů bezproblémově použitelný. Obdobně dopadlo hodnocení tvrdosti měřené podle Vickerse. Vzorek č. 1 vykazoval tvrdost 84HV, vzorek č. 2, dosahoval hodnoty 80HV. Z naměřených hodnot vyplývá, že oba materiály, ač stejné třídy, mají různé mechanické vlastnosti, které, jak se později ukázalo, ovlivňují výrobu natolik, že materiál s vyššími mechanickými vlastnostmi nelze pro výrobu delších závitů válcováním použít.

Hodnocena byla také mikrostruktura obou materiálů. Vzorky byly podrobeny optické mikroskopii, pro zjištění informací o materiálu i z hlediska vnitřní struktury. Tím byly také potvrzeny závěry zkoušek mechanických vlastností. Struktura zjištěná mikroskopem Neophot 21 je vidět na obr. 15 a 16. Závěr z této části jen potvrzuje výsledek statické zkoušky tahem a měření tvrdosti, protože mechanické vlastnosti struktury s vysokou pevností byly způsobeny vyšším obsahem zinku respektive jemnějšími a početnějšími zrny tuhého roztoku α (obr. 15). V případě vzorku č. 2 vykazovala struktura s nižším procentem zinku zrno, které bylo v porovnání se strukturou č. 1 hrubší a méně početné. Tedy tím byly potvrzeny mechanické vlastnosti, jež stojí za výsledky experimentu.

Dále se materiál porovnával z hlediska přípustného chemického složení dovoleného normou podle diagramu na obr. 17. Byly zohledněny obě krajní meze intervalu, ve kterém se ještě jedná o materiál Ms63, respektive CuZn37, tedy materiál s 64% mědi (viz výše Tab. 1. Hmotnostní zastoupení jednotlivých složek v Ms63), maximem doprovodných prvků a minimem zinku a naopak materiál s 62% mědi s minimem přísad a maximem zinku. Obr. 17 říká, že tyto krajní extrémy mohou způsobit rozdíl v napětí na mezi pevnosti v hodnotách až desítek MPa a v hodnotách tažnosti až 5%, což opět, stejně jako v metalografické části, jen potvrzuje výsledky mechanických zkoušek.

V závěru lze výsledky shrnout tak, že Ms63 je pro danou aplikaci málo vhodná, protože díky rozpětí intervalu, ve kterém se pohybuje hmotnostní obsah přísadových prvků, zejména zinku, nejsou zaručeny optimální mechanické vlastnosti pro aplikaci technologie válcování výše uváděným způsobem. Z tohoto důvodu by bylo vhodnější využívat materiál, u kterého průběh vlastností nemá tak strmý průběh, například Ms70, či Ms67, kde se

jeho vlastnosti v závislosti na obsahu příměsí mění mírněji, navíc tažnost je vyšší a pevnost nižší.

5. Použitá literatura

- [1] Výkruta, J.: *Tváření závitů závitovými válcovacími hlavami*. Praha, SNTL, 1946, 198 s.
- [2] Václavovič, A.: *Závity a šrouby*, Vydavatelství ROH–Práce–vydavatelství knih, 1951, 251 s.
- [3] Hrubý, V., Greger, M.: *Přehled materiálového inženýrství*, Kovosil, 2010, 220 s.
- [4] *Měď*, 2011, <cs.wikipedia.org>
- [5] Macek, K., Janovec J., Jurči P.: *Kovové Materiály*. Praha, Nakladatelství ČVUT, 2006, 164s.
- [6] *Historie mědi*, 2006, WWW:
<<http://www.tzbsystem.cz/article.asp?nDepartmentID=2&nArticleID=15&nLanguageID=1>>
- [7] *Narex, Technické údaje o závitových válcovacích hlavách*
- [8] Lenfeld, P: *Skripta -Technologie objemového tváření -. Válcování*, WWW:
<www.ksp.tul.cz>
- [9] Holub, J: *Příčné klínové válcování*, SNTL, 1972,141s.
- [10] Vysoká Škola Chemicko-Technologická v Praze, WWW:
<<http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/>>
- [11] Macek, K., Zuna, P., Janovec, J.: *Tepelné zpracování technických materiálů*, ČVUT, 2008, 133s.
- [12] Autorský kolektiv ČVUT a VŠCHT: *Lexikon technických materiálů*, Verlag Dashöfer, 2004, 7448s.
- [13] *Skripta: Nauka o materiálech – Měď a slitiny*: <www.kmt.tul.cz>
- [14] Sedláček, V.: *Neželezné kovy*, SNTL, 1957, 219s.
- [15] *Rustikální svítidla*, <<http://www.osvetlenisvitidla.cz>>
- [16] Ptáček, L.: *Nauka o materiálu I.*, CERM s.r.o., 2003, 516s.

6. Přílohy

Příloha č. 1: Protokol ze statické zkoušky tahem (vzorek č.1)

Příloha č. 2: Protokol ze statické zkoušky tahem (vzorek č.2)

Příloha č. 3: Lexikon technických materiálů – Ms63 (str. 1)

Příloha č. 4: Lexikon technických materiálů – Ms63 (str. 2)

Příloha č. 5: Příklad použití mosazné trubky opatřené závity

Příloha č. 6: Příklad použití mosazné trubky opatřené závity

Příloha č. 1

STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

EN ISO 6892-1

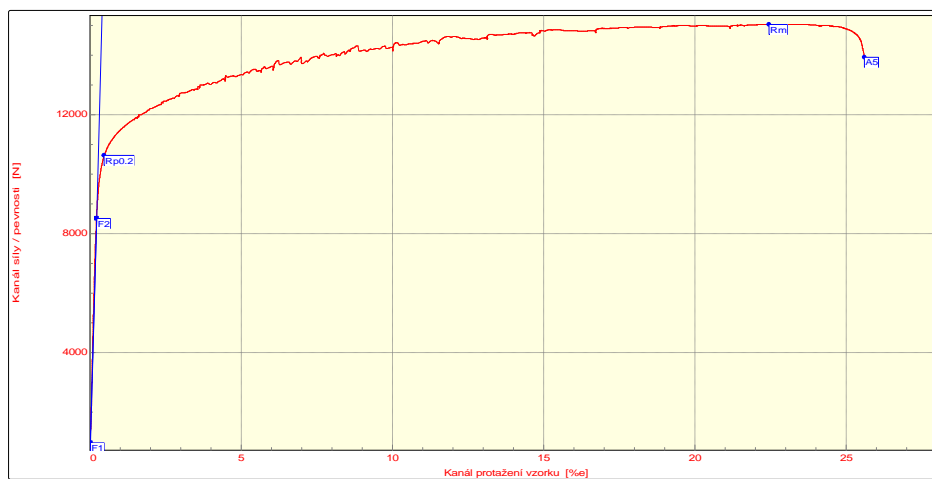
VSTUPNÍ PARAMETRY

Testovaný materiál: : MS 63_Světla
Norma: : EN - ISO 6892-1
Rozměr vzorku: : TR (10x1,5) mm
Rychlost zatěžování: : 10 mm/min.
Vypracoval: : Jakub Típek
Datum zkoušky: :
Podmínky měření: : ---

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Číslo zkoušky	Rp0.2 MPa	Rm MPa	A5 %
1	270.80	383.25	25.24
2	267.73	383.18	22.65
3	269.70	383.86	23.11
4	270.46	382.76	25.56
5	270.27	383.25	26.22

Statistická hodnota	Rp0.2 MPa	Rm MPa	A5 %
Počet zkoušek	5	5	5
Průměrná hodnota	269.79	383.26	24.55
Směrodatná odchylka	1.22	0.39	1.58



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů
Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

Příloha č. 2

STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

EN ISO 6892-1

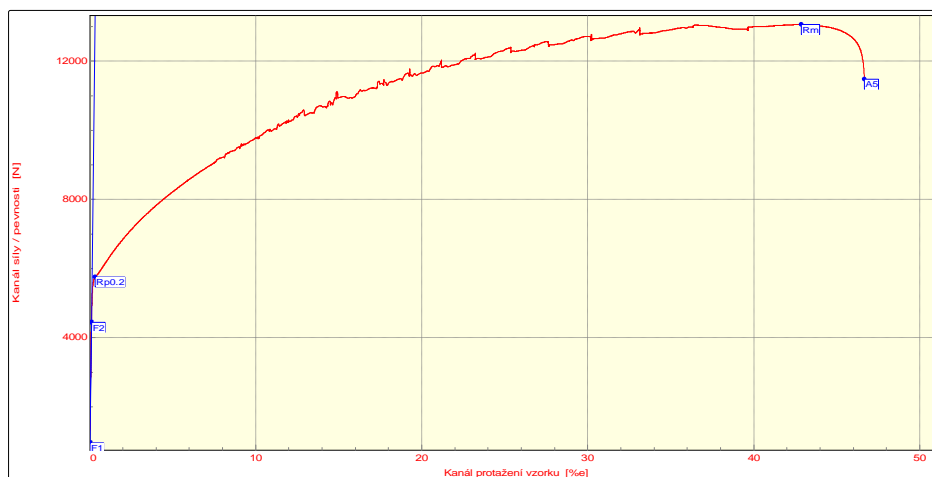
VSTUPNÍ PARAMETRY

Testovaný materiál: : MS 63_Tmavá
Norma: : EN - ISO 6892-1
Rozměr vzorku: : TR (10x1,5) mm
Rychlost zatěžování: : 10 mm/min.
Vypracoval: : Jakub Típek
Datum zkoušky: :
Podmínky měření: : ---

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Číslo zkoušky	Rp0.2 MPa	Rm MPa	A5 %
1	146.73	332.88	46.40
2	145.71	335.11	45.60
3	150.48	336.19	47.11
4	145.67	335.02	45.60
5	149.91	334.91	47.11

Statistická hodnota	Rp0.2 MPa	Rm MPa	A5 %
Počet zkoušek	5	5	5
Průměrná hodnota	147.70	334.82	46.36
Směrodatná odchylka	2.32	1.20	0.75



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů
Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>

Příloha č. 3 [12]

ČSN 42 3213		Slitina mědi tvářená		MOSAZ	
STN 42 3213		pro všeobecné účely		CuZn37	
Chemické složení [hm. %]					
Cu	Sn	Pb	Fe	ostatní	Zn
62,0–65,0	max 0,15	max 0,2	max 0,25	max 0,5	zbytek
Polotovary					
[1] plechy, desky, anody válcované za tepla		[4] drát tažený za studena			
[2] plechy, pásy, pruhy, kotouče válcované za studena		[5] trubky bezešvé tažené za studena			
[3] tyče kruhové, čtvercové a ploché tažené za studena					
Mechanické vlastnosti					
Polotovary	[1]	[2]			[3]
Rozměr t, d [mm]	ČSN 42 8302	ČSN 42 8302	t < 7	t < 1	ČSN 42 8611
Stav	tvářený	měkký	tvrdý	2x pružinově tvrdý	měkký
Mez kluzu R _p 0,2 [MPa]	–	inf. 100	inf. 340	inf. 540	inf. 120
Mez pevnosti R _m [MPa]	300–380	300–380	440–540	min 610	285–345
Tažnost A ₅ [%]	inf. 30	min 45	min 12	–	min 40
Tvrdost HB	–	60–95	125–155	170–190	60–85
Modul pružnosti E [GPa]	inf. 101	inf. 98	inf. 105	inf. 108	inf. 98
Polotovary	[3]	[4]		[5]	
Rozměr t, d [mm]	d<14, t<4	ČSN 42 8410	ČSN 42 8410	ČSN 42 8707	t<4
Stav	tvrdý	měkký	tvrdý	měkký	tvrdý
Mez kluzu R _p 0,2 [MPa]	inf. 345	–	–	inf. 120	inf. 345
Mez pevnosti R _m [MPa]	min 420	325–295	440–420	min 345	min 420
Tažnost A ₅ (A ₂₀₀) [%]	min 10	(23–40)	(7–10)	min 40	min 10
Tvrdost HB	110–140	–	–	60–85	110–140
Modul pružnosti E [GPa]	inf. 105	inf. 98	inf. 105	inf. 98	inf. 105
Fyzikální vlastnosti					
Hustota	Měrná tepelná kapacita	Tepelní součinitel roztažnosti		Tepelná vodivost	Konduktivita
ρ [kg . m ⁻³]	c _p [J . kg ⁻¹ . K ⁻¹]	α [K ⁻¹]		λ ₁ [W . m ⁻¹ . K ⁻¹]	λ _g [MS . m ⁻¹]
8 430	387	19,0.10 ⁻⁶ (20–100°C)		121 (měkký stav)	14 (měkký stav)
Odolnost proti deformačním procesům					
ODOLNOST PROTI KOROZI					
je menší než u mosazí s menším obsahem zinku – viz např. CuZn30					
ODOLNOST PROTI ÚNAVĚ			ODOLNOST PROTI KŘEHKÉMU LOMU		
σ _{C10⁷} [MPa]			KCU 2 [J.cm ⁻²]		
120 (měkký stav)			140 (měkký stav)		
155 (tvrdý stav)					

Příloha č. 4[12]

část 7, díl 2, kap. 5, CuZn37, str. 2

LEXIKON TECHNICKÝCH MATERIÁLŮ

díl 2, měď a její slitiny

Technologické údaje

TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ

rekrytalizační žhání520–560°Cochlazovat na vzduchu

TVAŘITELNOST

velmi dobrá tvařitelnost při lisování (850°C) a válcování (810–840°C)teploty tavení 900–920°C
za tepla; dobrá tvařitelnost při ohýbání a tažení za studena

SVAŘITELNOST A PÁJITELNOST

svařitelnost dobrá plamenem (přídavný materiál ČSN 05 5686, tavidlo nutné), technologií TIG (ČSN 05 5686, tavidlo) a pod tavidlem (ČSN 42 3001)
pájitelnost dobrá cínovými i stříbrnými pájkami

OBROBITELNOST

etalon obrobitelnosti; koef. obrobitelnosti $k_p = \frac{v_{15}}{v_{15et}} = 1,00$,
kde v_{15} = rychlost obrábění srovnávaného materiálu pro trvanlivost nástroje 15 minut
 v_{15et} = rychlost obrábění etalonu pro trvanlivost nástroje 15 minut

TECHNOLOGICKÉ ZKOUŠKY

zkouška hloubením podle Erichsen (ČSN 42 0406) pro polotovary [2] tl. 0,10 – 1,4: IE = 9,7 – 13,2.
zkouška lámavosti podle ČSN 42 0401 pro polotovary [2] do tl. a < 4 mm úhel ohybu 180°C
zkouška smáčknutím podle ČSN 42 0415 pro polotovary [5]
zkouška hydraulickým tlakem podle ČSN 42 0415 pro polotovary [5]

Použití

Běžná mosaz pro výrobu kovového zboží. Vhodná k pokovení. Lamelové chladiče automobilů, nýty. Pružiny a jiné součásti v elektrotechnice.

Ostatní vlastnosti

Barevné značení podle ČSN 42 1306

Třída odpadu podle ČSN 42 003

červená – bílá364

Porovnání se zahraničními materiály

ISO		EURO		Německo	
CuZn37	ISO 426/1	CuZn36 CuZn37	EN 1652 EN 1652	CuZn37	DIN 17660
Francie		Velká Británie		Rusko	
CuZn36 CuZn37	NF A51-101 NF A51-104	CZ108	BS 2870	L63	GOST 15527-70
USA		Japonsko		Kanada	
C27400 C27200	ASTM B134 ASTM B36	C2720	JIS H3100	HC.4.ZP342	CSA HC.4.3
Itálie		Rakousko		Švédsko	
P-CuZn37	UNI 4892	CuZn37	ÖNORM M3404	CuZn37	SS 145150
Polsko		Maďarsko		Norsko	
CuZn37	PN H87025	Sr63	–	CuZn37	NS 16120
Finsko		Švýcarsko		Španělsko	
CuZn37	SFS 2919	–	–	CuZn37	UNE 37103-1

Příloha č. 5 ^[15]



Příloha č. 6 [15]



Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/200 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická universita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiju-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum: 6. 1. 2012

Podpis:

Declaration

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purpose of TUL

If I use my thesis or grant a license for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact, in this case TUL has right to seek that I pay expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with use of the acknowledged sources on the basis of consultation with the head of the thesis and consultant.

Date: 6. 1. 2012

Signature: